

補助事業番号 2019M-161

補助事業名 2019年度 電磁パルス音響法によるマルチマテリアル接着接合部の非破壊評価装置の開発 補助事業

補助事業者名 東北大学 流体科学研究所 教授 高木敏行

1 研究の概要

厚さ10mm以上の繊維強化複合材料と金属の接着接合マルチマテリアルに生じた剥離欠陥を対象とし、磁気パルスにより励振された弾性波の伝播現象を解明することで、上記欠陥を非破壊的に検査・評価する電磁パルス音響探傷器を開発する。

2 研究の目的と背景

航空機産業や自動車産業では、構造材の軽量化と部品点数の削減等を目的として、金属と繊維強化複合材料(FRP)を接合して利用する「マルチマテリアル化」の技術が注目されている。このマルチマテリアル化技術の中では、特に接着剤を用いて2つの物体を接合する「接着接合」が高い軽量効果を発揮するが、接着部に生じる欠陥を構造材の外側から非破壊的に評価・検査する技術は今のところ確立されていない。そのため重要な部材には接着接合を用いることができず、できたとしても、高い安全率をかけて設計しているのが現状であり、結果、軽くて強いFRPを使用したとしても構造体の軽量化は最適化されないままとまっている。

最も汎用的な非破壊検査技術である超音波探傷法も、FRPの弾性減衰が高いために厚い構造体には適用できない。これに対し事業担当者らは、電磁現象を利用する「電磁パルス音響法 (Electromagnetic Pulse-induced Acoustic Testing, EPAT)」を提案した。

EPATは、FRPの外部に近接した励磁コイルにパルス電流を与えて瞬間的に磁気パルスを発生させ、これにより接合部の金属を電磁力で励振して弾性波を励起し、これをFRP外側のセンサで受信・解析することで接着部の欠陥を検出するという手順を原理とする。観測される現象は複雑で、電磁力と弾性波の連成解析が重要となり、FRPの種類や積層構成、金属の電磁特性などが影響するため、これらと欠陥の規模や位置との相関性を定量的に評価し、対象に応じて最適なシステムの構築を目指す。本事業においては、厚さ10mm以上のFRPと金属基板からなる接着接合マルチマテリアルの接着界面に生じる人工剥離の欠陥の検出を目標とする「電磁パルス音響探傷器」の開発を目指す。

3 研究内容

(1) マルチマテリアル用電磁パルス音響探傷器の開発

(http://www.ifs.tohoku.ac.jp/asel/research_epat.html)

高速コンデンサ充放電回路を使用し、最大毎秒50発の磁気パルスを発生できるコンデンサ充放電式高周波磁気パルス発振装置を製作し、多連発パルス電流に対応できるコイルおよび走査システムと組み合わせることでFRP/金属マルチマテリアルの界面欠陥を非破壊検査できるマルチ

マテリアル用電磁パルス音響探傷器を開発した(図1)。本装置は単相AC100Vで駆動でき、充電電圧とパルス発生頻度を調整できる仕様となっている。電源部の外形寸法は430×430×180 (mm)、重量は20kgとなり、据え置き型となるが、コイルは電源-リード線部で着脱できるカートリッジ式となっており、コイルを取り付けるアームの角度や走査ステージを調節することで様々な形状の試験対象に対応できる。計測はAEセンサ等の様々なセンサの信号を導入できるようになっており、コイルを取り付けたアームの走査に合わせて経時的な音響信号の取得とチャート表示、FFTなどの信号処理、およびコンターの3次元表示機能を搭載している(図2)。



図1 電磁パルス音響探傷器の外観

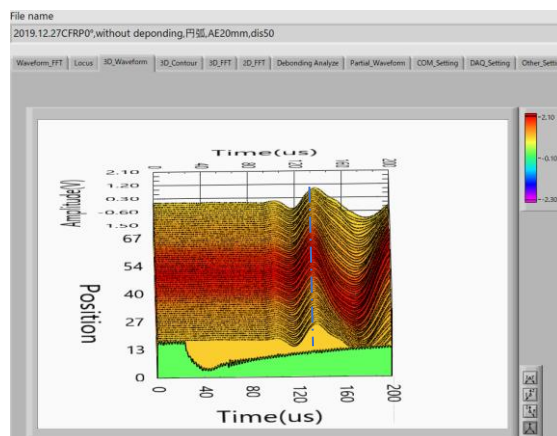


図2 EPAT計測システムのフロントパネル。音響信号のコンターを示したもの(横軸:時間、縦軸:コイルの走査距離あるいは角度)。

(2) 可搬型電磁パルス音響探傷システムの開発

(http://www.ifs.tohoku.ac.jp/asel/research_epat.html)

先に開発したマテリアル用電磁パルス音響探傷器で得た知見を元に、機能を制限して電源・制御部を小型化したことで可搬型電磁パルス音響探傷システムの開発に成功した。電源はバッテリーで駆動できるようにし、パルス発生頻度は0.6 ppsとした。コイルはマテリアル用電磁パルス音響探傷器用のものと互換性をもたせた。センサで受信した信号は探傷器本体で増幅・AD変換し、離れた位置にある解析用PCへ転送するようにした。コイルが内蔵されているプローブをある程度の範囲で柔軟に動かせるので、屋外に据え置きとなる大型の高圧容器や航空機主翼内部などを対象に検査ができる仕様となっている。

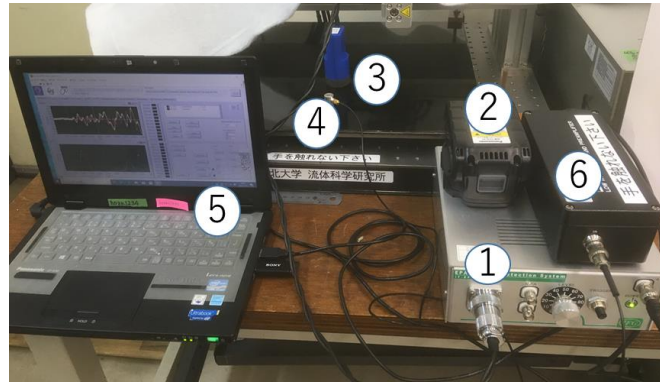


図3 可搬型電磁パルス音響探傷システムの外観。①探傷器本体、②バッテリー、③コイル、④音響センサ、⑤解析用PC、⑥音響センサのンプ。

(3) メッセナゴヤ2019における展示

(http://www.ifs.tohoku.ac.jp/asel/gallery/gallery_h31.html#191106-9)

2019年11月6日から9日かけて名古屋市国際展示場ポートメッセなごやにて行われたメッセナゴヤ2019の東北・北海道航空宇宙産業パビリオンにおいて東北大学流体科学研究所/CFRP研究会として参加し、電磁パルス音響探傷器の展示とデモンストレーションを行った。4日間で141名の方にお越しいただいた(図4、図5)。



図4 メッセナゴヤ2019における展示の様子

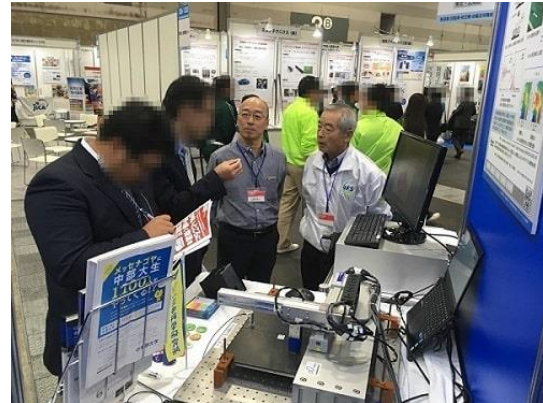


図5 電磁パルス音響探傷器の展示説明

4 本研究が実社会にどう活かされるかー展望

本事業における研究により、FRP/金属接着マルチ材料に生じる弾性波伝播の機序が明確になった。これにより、マルチ材料の電磁非破壊評価法の研究開発が進展し、マルチ材料技術の品質保証技術が確立される。これによりFRPを用いた構造材料の設計はより挑戦的なものになり、航空機や自動車、高圧水素容器の構造が大きく変化し、輸送とエネルギー業界に技術革新を促すことが期待される。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

補助事業者の高木は、20年以上にわたって電磁現象を用いた非破壊評価手法について研究開発を進めてきた。金属を対象とした渦電流探傷システムについては実機に適用されている。今回の事業は、対象を金属から複合材料にかえ、電磁現象を用いた非破壊評価法の発展系となっている。近年注目を浴びている複合材料では従来の方法では非破壊検査が難しい場合がある。共同研究者らとともに、新しい挑戦に取り組んだ研究開発であるが、複合材料に対する電磁現象を用いた非破壊評価法の新しい学問分野を拓くことになると考えている。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

[1] Toshiyuki Takagi, Hongjun Sun, Hiroyuki Kosukegawa, Mitsuo Hashimoto, Electromagnetic Pulse-induced Acoustic Testing for Metal/Composite or Metal/Plastics Adhesive Joints and Its Data Processing, 46th Annual Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation, (2019) QNDE2019-1234.

[2] Hongjun Sun, Hiroyuki Kosukegawa, Mitsuo Hashimoto, Toshiyuki Takagi, Numerical simulation of electromagnetic pulse-induced acoustic testing for metal/plastics adhesive joints, The 19th International Symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics, (2019) p.286.

[3] 高木敏行, 小助川博之, 孫宏君, 橋本光男, CFRP複合材の電磁現象を用いた非破壊検査, 日本社会基盤安全技術振興協会第3回あんしん協働強会, (2019).

[4] 小助川博之, 橋本光男, 高木敏行, CFRP/CFRTPおよびそれらを用いた接着接合マルチマテリアルの電磁非破壊評価, 2019年度塑性加工連合講演会, (2019).

[5] 小助川博之, 橋本光男, 高木敏行, FRPを対象とする電磁非破壊評価-渦電流試験と電磁パルス音響法-, 64th FRP CON-EX 2019, (2019) pp.99-101.

[6] Toshiyuki Takagi, Hongjun Sun, Hiroyuki Kosukegawa, Mitsuo Hashimoto, Electromagnetic Pulse-induced Acoustic Testing and Its Application to the Non-destructive Evaluation of Adhesive Bonding between Carbon Fiber Composite and Metal, 11th International Symposium on NDT in Aerospace, (2019) pp. THU.3.B.2.

[7] Hongjun Sun, Hiroyuki Kosukegawa, Toshiyuki Takagi, Tetsuya Uchimoto, Mitsuo Hashimoto, Naoki Takeshita, Yoshikazu Ohara, Philippe Guy, Mickael Lallart, Signal evaluation of electromagnetic pulse-induced acoustic testing for adhesive bonding, ELYT Workshop 2020, (2020).

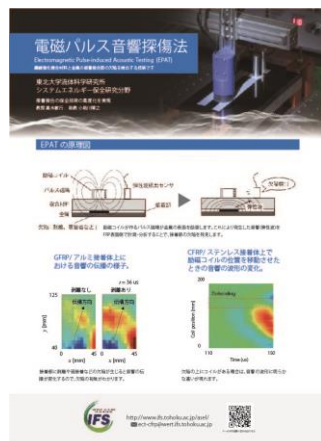
[8] 竹下直輝, 小助川博之, 孫宏君, 森仁, 宍戸信行, 橋本光男, 高木敏行, パルス磁場により励起されたFRP/金属接着接合平板における音響伝播の機序解明, 日本機械学会東北学生会第50回卒業研究発表講演会, (2020).

7 補助事業に係る成果物

(1) 補助事業により作成したもの

電磁パルス音響探傷法(フライヤー)

(http://www.ifs.tohoku.ac.jp/asel/epat_flier.pdf)



(2) (1)以外で当事業において作成したもの

メッセナゴヤ2019展示内容「マルチマテリアル用電磁パルス音響探傷器」リーフレット

(https://www.messenagoya.jp/2019/arrival_guidance/list/0648-17)



マルチマテリアル用電磁パルス音響探傷器

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 東北大学流体科学研究所(トウホクダイガク リュウタイカガクケンキュウジョ)

住所: 〒980-8577

宮城県仙台市青葉区片平2-1-1

担当者: 特任准教授 小助川博之(コスケガワヒロユキ)

担当部署: 流体科学研究所(リュウタイカガクケンキュウジョ)

E-mail: hiroyuki.kosukegawa.b5@tohoku.ac.jp

URL: <http://www.ifs.tohoku.ac.jp/asel/index.html>